



Les Déterminants de la Productivité des Inventeurs : Une Analyse en Termes de Diversité et de Cohérence de la Base de Connaissances

Riad Jawel Bouklier-Hassane

► To cite this version:

Riad Jawel Bouklier-Hassane. Les Déterminants de la Productivité des Inventeurs : Une Analyse en Termes de Diversité et de Cohérence de la Base de Connaissances. 2014. halshs-01062012

HAL Id: halshs-01062012

<https://shs.hal.science/halshs-01062012>

Preprint submitted on 9 Sep 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

WP 1421

**Les Déterminants de la Productivité des Inventeurs :
Une Analyse en Termes de Diversité et de Cohérence
de la Base de Connaissances**

Riad Jawel Bouklia-Hassane

September 2014

GATE Groupe d'Analyse et de Théorie Économique Lyon-St Étienne

93, chemin des Mouilles 69130 Ecully – France

Tel. +33 (0)4 72 86 60 60

Fax +33 (0)4 72 86 60 90

6, rue Basse des Rives 42023 Saint-Etienne cedex 02 – France

Tel. +33 (0)4 77 42 19 60

Fax. +33 (0)4 77 42 19 50

Messagerie électronique / Email : gate@gate.cnrs.fr

Téléchargement / Download : <http://www.gate.cnrs.fr> – Publications / Working Papers

Les Déterminants de la Productivité des Inventeurs : Une Analyse en Termes de Diversité et de Cohérence de la Base de Connaissances

Riad Jawel BOUKLIA-HASSANE*

Résumé : Bien que la créativité humaine soit au cœur du processus d'innovation, peu d'attention a été accordée à la dimension individuelle dans l'analyse de l'activité d'innovation. L'objet de ce travail est d'étudier les déterminants de la productivité des inventeurs individuels. Contrairement à d'autres études, notre hypothèse est que le stock de connaissances de l'inventeur n'est pas homogène. Aussi, nous élaborons un modèle qui 'augmente' les spécifications traditionnelles par l'introduction des facteurs de diversité d'une part et de cohérence d'autre part de la base de connaissances des inventeurs. Les résultats des estimations économétriques réalisées sur les données de brevets des inventeurs français et britanniques valident l'hypothèse d'une influence positive de ces deux facteurs sur la productivité des inventeurs individuels. Ils mettent également en évidence la présence d'un effet indirect de la cohérence sur la productivité de l'inventeur : plus la cohérence de la base de connaissances de l'inventeur est grande et plus l'impact de la diversification technologique sur sa productivité est élevé.

Mots clé : inventeurs prolifiques, brevets, diversification technologique, cohérence des connaissances, capacité d'innovation, système national d'innovation.

Abstract : Although human creativity is at the heart of the innovation process, little attention has been paid to the individual dimension in the analysis of innovation activity. The purpose of this paper is to study the determinants of individual inventors' productivity. Unlike other studies, our hypothesis is that the inventor's stock of knowledge is not homogeneous. Accordingly, we develop a model that 'augments' the traditional specifications by introducing two factors with, on the one hand, diversity and, on the other hand, coherence of the inventors' knowledge. The results of econometric estimates using French and British inventors' patent data show a positive impact of these two factors on the individual inventors' productivity. It also highlights the presence of an indirect effect of knowledge coherence on the inventors' productivity: the larger the coherence of the inventor's knowledge is, the higher the impact of the technological diversification on productivity become.

Keywords: prolific inventors, patents, technological diversification, knowledge coherence, innovation capacity, national innovation system.

JEL classification: O31, O33, O39, O57, D83.

* Université de Lyon, Lyon, F-69007, France ; CNRS, GATE Lyon Saint-Etienne, Ecully, F-69130, France. Corresponding email : Riad.Bouklia-Hassane@univ-lyon2.fr

L'innovation est reconnue comme un facteur essentiel de constitution d'avantages compétitifs par les firmes. Toutefois, la question des déterminants des capacités d'innovation reste largement ouverte. Les approches qui se sont développées dans ce contexte ont souvent mis l'accent essentiellement sur les caractéristiques particulières de la firme en tant qu'organisation (Teece et *al.* ; 1997 Porter, 1986) ou encore sur la nature des structures de l'économie nationale à travers la référence notamment au système national d'innovation (Lundvall, 1992 ; Nelson, 1993 ; Lundvall *et al.*, 2002). Dans l'ensemble de ces travaux, une attention insuffisante a été accordée à la dimension individuelle dans l'activité d'innovation alors même que la créativité individuelle est au cœur du processus d'innovation.^{1 2} Même lorsqu'il est fait référence à la dimension individuelle comme un niveau pertinent d'analyse du processus de création de la connaissance, cette dimension est souvent réduite à un facteur homogène par sa référence à un inventeur 'représentatif' (Narin et Breitzman, 1995). L'objet de ce papier est d'étudier les déterminants de la productivité des inventeurs individuels. Autrement dit, nous voulons identifier les facteurs qui sont à la base de la forte hétérogénéité individuelle observée par Lotka (1926) dans le cas des chercheurs scientifiques et plus récemment par Narin et Breitzman (1995) dans le cas des inventeurs.

¹ La pertinence de la dimension individuelle dans l'analyse du processus d'innovation, à côté des firmes, des réseaux et de leurs interactions, a été discutée notamment par Felin et Hesterly (2007). Ces auteurs se sont interrogés judicieusement sur la cohérence d'une approche qui retiendrait le niveau firme (les capacités organisationnelles de la firme) comme l'unique source de création de la connaissance. La contribution des individus au développement technologique et scientifique n'a été que récemment intégrée explicitement dans les analyses et évaluée empiriquement. Il appartient à Zucker et Darby (1996) d'avoir mis en évidence, dans le cas des chercheurs scientifiques, la contribution des 'star scientific and engineers' à l'émergence de la biotechnologie. Après s'être restreint au rôle du capital intellectuel dans le développement spécifique de l'industrie de la biotechnologie, ces auteurs étendent dix années plus tard le concept de scientific star à l'ensemble des champs de la science et de la technologie (Zucker et Darby, 2007). Gay et al. (2005) ont examiné, de leur côté, les caractéristiques des inventeurs individuels prolifiques en mettant en avant leur rôle notamment « d'intégrateur des connaissances » fragmentées (knowledge integrators) au sein des équipes de recherche. Rothaermel et Heiss (2007), dans une approche similaire, soulignent également le rôle des différents niveaux d'« antécédence » (individus, firmes et réseaux) ainsi que leurs interactions dans la production d'innovation en référence aux firmes pharmaceutiques dans le champ de la biotechnologie.

² La dimension individuelle et humaine est présente non seulement dans le processus d'innovation mais également dans le transfert des technologies car ce dernier est d'abord un mouvement d'idées portées par des hommes (Kennedy, 1997: 241).

Notre apport dans ce papier est d'élargir les déterminants potentiels de la productivité des inventeurs prolifiques aux facteurs de diversité de la base de connaissance des inventeurs et de son niveau de cohérence. Nous nous proposons, par cela, d'enrichir la spécification du modèle généralement retenu pour analyser les déterminants de la productivité des inventeurs individuels qui retiennent l'hypothèse d'une homogénéité du stock de connaissance des inventeurs (Turner et Mairesse, 2002) ; Hoisl, 2007a et b ; Lebas *et al.*, 2010). Nous prenons pour cela appui sur les travaux fondateurs de Teece *et al.* (1994) sur la structure de l'espace des connaissances et sur la mesure de proximité cognitive que ces auteurs proposent. Notre démarche s'inspire également de l'approche de Weitzman (1998) selon laquelle le développement de la connaissance est le résultat de recombinaisons fertiles de connaissances préexistantes.

L'examen de ces questions et la validation des hypothèses retenues seront sous-tendus par une analyse empirique qui sera menée en référence aux inventeurs français et britanniques. Le choix de la France et de la Grande Bretagne est justifié par le fait que ces deux pays sont assez proches en termes de population, de niveau de développement et de nombre de chercheurs en R&D de sorte que les différences éventuelles dans les principales relations que nous aurons à établir ne sont pas systématiquement dues à la taille économique ou à l'activité de R&D dans les deux pays.

Les données que nous mobiliserons seront essentiellement extraites de la base de données de brevets déposés à l'office américain des brevets (United States Patent and Trademark Office ou USPTO) afin de nous concentrer sur les inventions qui ont une grande valeur économique et qui ont nécessité une protection internationale et, d'autre part, de ne pas faire dépendre les performances d'innovation des entreprises des règles juridiques nationales ou des facilités de dépôts dont elles peuvent bénéficier dans leur pays d'origine.³

La première section de ce travail présente brièvement les motifs de la diversification/concentration technologique des inventeurs. Dans cette section, on présentera

³ Cette base est décrite dans Hall *et al.* (2001). Du fait de sa richesse, elle a été intensivement utilisée dans les études académiques (Kim *et al.*, 2005; Trajtenberg, 2004 et 2006; Singh, 2005). Cette base recense sur la période 1975-2002 des informations détaillées sur plus de 3.190.000 brevets enregistrés à l'USPTO, notamment sur leurs champs technologiques, leur année d'enregistrement, le type d'assigné ainsi que des informations sur 1.679.000 inventeurs permettant ainsi une véritable cartographie de l'activité d'invention telles qu'enregistrée dans l'USPTO

également les indicateurs de diversification qui seront utilisés. La deuxième section procède à une étude statistique de la diversification de la base de connaissances des inventeurs prolifiques français et britanniques. La troisième section construit la mesure de la cohérence de la base de connaissances de l'inventeur et examine les caractéristiques premières de cohérence du capital de connaissance des inventeurs français et britanniques. La quatrième section présente enfin les estimations économétriques permettant de tester l'effet de la diversification et de la cohérence de la base de connaissance de l'inventeur sur ses performances individuelles en termes de nombre de brevets.

SECTION 1 : LES MOTIFS DE DIVERSIFICATION/CONCENTRATION TECHNOLOGIQUE DES INVENTEURS

Le processus d'invention devient de plus en plus complexe faisant intervenir constamment des champs nouveaux de la connaissance. De nouvelles activités émergent issues de croisements d'activités et de leur fertilisation et sont à leur tour une source de nouvelles inventions (Weitzman, 1998).⁴ C'est le cas par exemple de la convergence croissante des télécommunications et de l'électronique durant les années 80 (Antonelli *et al.*, 2010) ou encore, de l'émergence de la mécatronique, combinaison de la mécanique, de l'électronique et de l'automatique pour permettre le contrôle de systèmes complexes (notamment dans l'aéronautique et le secteur de l'automobile). Une autre source, tout aussi importante de cet élargissement de la connaissance, est le passage des économies développées vers les services professionnels qui ont un contenu en informations et en connaissances de plus en plus large, complexe et diversifié (Teece, 2003).

Cette complexité technologique s'accompagne d'une fragmentation des connaissances dans une séquence de type :

Elargissement des champs de la connaissance → Complexité technologique →
Fragmentation de la connaissance.

Cette fragmentation ne signifie pas pour autant un cloisonnement des champs de connaissance sans rapport les uns aux autres. Saviotti (2010: 151) représente, au contraire, la connaissance

⁴ 'Production of new ideas is made a function of newly reconfigured old ideas in the spirit of the way an agricultural research station develops improved plant varieties by cross-pollinating existing plant varieties' (Weitzman 1998: 331)

‘as a network, the nodes of which are concepts or variables and the links of which are given by the joint utilization of the concepts or variables’. Dans cette représentation, la fragmentation de la connaissance qui accompagne la complexité technologique désigne alors une multiplication du nombre de nœuds (variables ou concepts) mais, dans un même moment, une démultiplication encore plus grande des liaisons qui composent le réseau de connaissance.

Devant cette évolution de la technologie, plusieurs formes d’organisation se sont développées pour recombinaison des savoirs fragmentés.

L’une d’elles qui a largement retenu l’attention est le réseautage des inventeurs de différents champs de compétence dont le développement a accompagné la complexité croissante de la technologie (Breschi et Lissoni, 2006) ; Turner *et al.*, 2003). La finalité de celui-ci dans ce contexte est d’organiser la coopération entre ses membres pour développer les opportunités d’intégration fertiles des connaissances disparates de ses membres pour de nouvelles inventions.⁵

Toutefois, on peut également soutenir que les inventeurs, particulièrement les inventeurs prolifiques en termes de production de brevets, diversifient également leurs *propres* champs de compétences technologiques afin de développer *par eux-mêmes* les nouvelles opportunités d’inventions. Les motifs qui peuvent être avancés en faveur d’une diversification des champs technologiques de l’inventeur sont de plusieurs ordres :

- En diversifiant leur base de connaissances, les inventeurs démultiplient en effet le nombre de combinaisons et de croisements fertiles de leurs champs de compétence technologique (Weitzman, 1998 ; Garcia-Vega, 2006).
- La diversification de la connaissance permet à l’inventeur d’accroître sa capacité d’absorption des connaissances provenant des sources externes diverses comme la littérature scientifique ou les documents de différents brevets (Hoisl, 2007) où des réseaux dans lesquels il est inséré (Leten *et al.*, 2006). En améliorant son absorption des connaissances externes, la diversification contribue potentiellement à une plus grande productivité de l’inventeur.

⁵ La perspective collective ou ‘communale’, quant à elle, met l’accent, face à la complexité technologique, sur des formes d’organisation plus larges, à l’extérieur des firmes, pour résoudre le problème de la recombinaison des connaissances (Saxenian, 1999 ; von Hippel *et al.*, 1999 ; Gittelman et Kogut, 2001 ; Dupouet *et al.* 2002).

- Enfin, on peut estimer que la possibilité de s'approprier individuellement la paternité des inventions même complexes –plutôt qu'en co-invention- peut probablement être une incitation supplémentaire pour l'inventeur à l'extension de ses propres champs de compétence.

Il faut toutefois souligner que la diversification s'accompagne également d'une fragmentation des connaissances de l'inventeur risquant d'être préjudiciable à ses performances en réduisant la cohérence de sa base de connaissances. Plus les champs technologiques investis sont nombreux – ou disparates- et plus l'effort de l'inventeur sera ardu pour recombinaison ses connaissances de manière fertile.

Au total, l'inventeur individuel se trouve devant un arbitrage : il peut rester sur ses domaines de compétence et adopter une stratégie de spécialisation dans un segment technologique donné (statu-quo technologique) ou bien rechercher une diversification de ses champs de connaissance. La décision relève dans ce cas des coûts et des bénéfices associés à la diversification technologique des compétences de l'inventeur. Le niveau optimal de diversification sera dans ce cas celui qui permet à l'inventeur de tirer bénéfice de la multiplicité de ses champs de compétence sans pour autant subir un coût d'opportunité important ni réduire la cohérence de sa base de connaissances.

SECTION 2 : L'ANALYSE STATISTIQUE DE LA DIVERSIFICATION

S'agissant d'étudier la diversification des compétences technologiques des inventeurs, nous restreindrons notre attention dans la suite aux inventeurs qui disposent d'une prolificité suffisante en termes de brevets enregistrés afin que ceux-ci soient en nombre suffisant pour révéler les compétences technologiques de l'inventeur. Aussi, nous nous limiterons dans notre étude uniquement aux inventeurs ayant enregistré au moins quinze brevets sur la période d'étude à l'USPTO.

La classification technologique que nous utiliserons dans ce travail est celle de *l'International Patent Classification* (IPC) à un niveau de désagrégation à 4 digits. Le nombre de champs technologiques qui apparaissent dans la base de données de brevets de l'USPTO avec ce niveau de désagrégation est de 625 champs technologiques.

Avant de procéder à l'analyse statistique de la diversification des inventeurs français et britanniques, il est nécessaire de définir les indicateurs de diversité des champs technologiques des inventeurs qui seront utilisés.

Les indicateurs de diversification et la base de données utilisée

L'indicateur le plus immédiat de diversification de la base de connaissances d'un inventeur est le nombre de champs technologiques reportés dans ses différents brevets. C'est l'approche retenue par Nesta (2004) dans le cas des grandes entreprises. Cet indicateur possède toutefois plusieurs limites.

Une première limite concerne la dépendance de cet indicateur du niveau de désagrégation de la classification technologique retenue dans les bases de données utilisées. Plus le degré de désagrégation est élevé et plus la diversification d'un inventeur sera grande, toutes choses égales par ailleurs.

Une deuxième difficulté est liée au fait que cet indicateur affecte le même poids aux champs technologiques qui apparaissent dans le brevet d'un inventeur. Il s'agit d'une limite sérieuse car on peut difficilement accorder la même pondération à deux champs technologiques dont l'un n'apparaîtrait qu'occasionnellement dans les brevets de l'inventeur alors que l'autre pourrait constituer, à l'inverse, le cœur des compétences de l'inventeur.

Enfin, cet indicateur utilise le nombre de brevets comme indicateur du nombre d'inventions alors que la propension à breveter (*patenting*) des firmes dans leur ensemble peut varier d'un champ technologique à l'autre.⁶

Pour lever ces difficultés, il est nécessaire, d'une part, de tenir compte du poids du champ technologique considéré dans l'ensemble des compétences technologiques de l'inventeur et, d'autre part, de corriger cet indicateur des différences dans la propension à breveter (*patenting*) des différents champs technologiques.

Une façon d'imposer ces restrictions est de ne considérer que les champs technologiques où l'inventeur possède un avantage technologique révélé (ATR) supérieur à 1.⁷ Contraindre cet

⁶ 'The limitations of patent statistics as indicators of innovation activities are well known and include their sector-specificity.' (Antonelli *et al.*, 2010 : 11).

⁷ On définit, à la suite de Nesta (2004) l'avantage technologique révélé $ATR_{i,j}$ de l'inventeur i dans la technologie j par :

indicateur à être supérieur à 1 revient à définir cet indicateur de diversification comme la somme des seuls champs technologiques dont la part des brevets dans le total des brevets de l'inventeur est plus grande que cette même part dans l'ensemble de la population des inventeurs prolifiques.

La diversification peut enfin être estimée par (l'opposé de) l'indice de concentration de Herfindahl. Soit $p_j = B_j/B$ la part des brevets dans le champ technologique j dans le total des brevets de l'inventeur considéré. Si J est le nombre total de champs technologiques de cet inventeur, alors l'indice de concentration de Herfindahl sera $H = \sum_{j=1}^J p_j^2$. En soustrayant 1 de l'indice de concentration de Herfindahl, on obtient l'indicateur de diversité : $diversité_HHI = 1 - H_i$. Ce coefficient varie de 0 à 1 et est positivement relié au niveau de diversification.

La distribution des inventeurs par degré de diversification

Les inventeurs prolifiques se distinguent par un niveau de diversification élevé quel que soit l'indicateur retenu. La comparaison entre la France et la Grande Bretagne montre que les inventeurs britanniques sont plus diversifiés en moyenne, bien qu'avec un faible écart, que les inventeurs français pour chacun des trois indicateurs de diversification. Cet écart s'accompagne également d'une dispersion plus grande des inventeurs britanniques autour de la moyenne. La diversification pour ces derniers se situe en effet dans un large spectre allant d'inventeurs ayant un seul champ technologique à des inventeurs possédant des avantages technologiques révélés dans 46 champs technologiques.

$$ATR_{i,j} = \frac{(B_{i,j}/\sum_j B_{i,j})}{(\sum_i B_{i,j}/\sum_i \sum_j B_{i,j})}$$

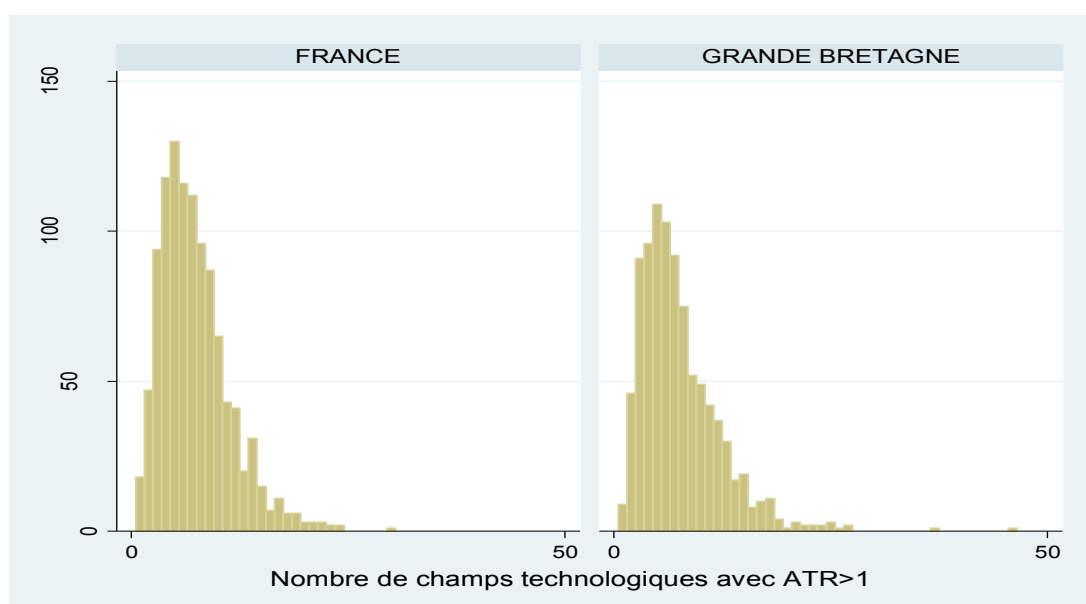
où $B_{i,j}$ est le nombre de brevets de l'inventeur i dans le champ technologique j .

Tableau 1 : Caractéristiques statistiques des indicateurs de diversification. France et Grande-Bretagne – 1976-2002.

	Pays	moyenne	écart-type	Min	max	Nbr obs.
Nombre de champs technologiques par inventeur	FR	7.58	4.21	1	32	1077
	GB	7.83	4.85	1	53	918
Nombre de champs technologiques par inventeur avec ATR	FR	7.35	4.03	1	30	1077
	GB	7.60	4.65	1	46	918
Indice de diversification (1-Herfindahl)	FR	0.64	0.21	0	0.95	1077
	GB	0.66	0.19	0	0.96	918

La figure 1, ci-dessous, présente la répartition des inventeurs français et britanniques par niveau de diversité de leurs champs technologiques de compétence.

Figure 1: Répartition des inventeurs par degré de diversification de leur compétence technologique



On observe que la distribution pour les deux pays est manifestement tirée vers la droite. Cette asymétrie est révélatrice d'une concentration des inventeurs sur les premiers niveaux de diversification technologique. Près de la moitié des inventeurs (48,6% pour la France et 49,46% pour la Grande Bretagne) possèdent seulement six ou moins de six champs de compétence technologique.

La diversification technologique et la productivité des inventeurs

On a également mis en relation l'indicateur de diversité des inventeurs prolifiques et celui de leur productivité en termes de nombre de brevets pour s'interroger sur une éventuelle corrélation entre ces variables. Cependant, et comme pour toute classification, on ne peut éviter un certain degré d'arbitraire. Aussi a-t-on considéré comme inventeur diversifié celui dont le nombre de champs technologiques, avec un ATR supérieur à 1, est supérieur à 10 durant la période de temps considéré⁸. Les autres inventeurs sont considérés comme des inventeurs à compétences spécialisées.

D'un autre côté, nous avons également distingué les inventeurs selon leur niveau de productivité. Pour cela, on a considéré qu'un inventeur est prolifique lorsque le nombre de ses brevets se situe entre 15 et 40 brevets. La classe des inventeurs très prolifiques sera constitué des inventeurs ayant 40 brevets enregistrés et plus. Ces derniers représentent 11.7% du total des inventeurs ayant au moins 15 brevets en France et 9.2% en Grande Bretagne.

Les variables de diversification et de productivité ont ensuite été croisées pour étudier l'éventualité d'une corrélation entre ces variables.

Le tableau 2 qui présente la répartition des inventeurs par niveau de diversification et de productivité montre que, pour l'ensemble des inventeurs de l'USPTO, 57.3% des inventeurs *très prolifiques* sont diversifiés alors que cette part n'est que de 25.4% parmi les inventeurs *prolifiques*.

⁸ Pour l'ensemble des inventeurs de l'USPTO ayant enregistré au moins 15 brevets, le nombre moyen de champs technologiques avec un ATR supérieur à 1 est de 9.12. Nous avons arrondi cette moyenne à 10.

Tableau 2 : Répartition des inventeurs par niveau de diversification et de productivité

		FRANCE			GRANDE BRETAGNE			Ensemble USPTO		
		spécia lisés	diver sifiés	Total	spécia lisés	diver sifiés	Tota l	Spécia lisés	Diversi fiés	Total
Inventeurs prolifiques	Nbr	797	154	951	671	163	834	35394	12036	47430
	(%)	83.8	16.2	100	80.5	19.5	100	74.6	25.4	100
Inventeurs très prolifiques	Nbr	86	40	126	51	33	84	3526	4722	8248
	(%)	68.3	31.8	100	60.7	39.3	100	42.8	57.3	100
Total	Nbr	883	194	1077	722	196	918	38920	16758	55678
	(%)	82.0	18.0	100	78.7	21.4	100	69.9	30.1	100.0

Cela montre que la diversification est surtout le fait des inventeurs *très prolifiques*. Toutefois, on ne peut pas établir une conclusion aussi formelle dans le cas de la Grande Bretagne et encore moins dans celui de la France. Dans ce dernier pays, seul 31.8% des inventeurs très prolifiques sont diversifiés alors qu'en Grande Bretagne, cette part est de 39.3%. Cependant, cette corrélation entre les caractéristiques de productivité des inventeurs et de diversité de leurs compétences technologiques est constamment positive et significative que ce soit pour la France ou la Grande Bretagne.⁹ Il reste que corrélation ne signifie pas causalité, encore moins, un sens de direction de causalité que seule une analyse économétrique peut établir.

SECTION 3 : LA BASE DE CONNAISSANCE DES INVENTEURS

La diversité des connaissances, dont on a établi certaines propriétés dans la section précédente, est une première caractéristique de la base de connaissance de l'inventeur. Cependant, une question se pose de savoir si cette diversification se réalise de façon aléatoire ou si, à l'inverse, la direction de diversification relève d'un choix de l'inventeur. Autrement dit, on ne doit pas s'interroger uniquement pour voir pourquoi les inventeurs diversifient leurs compétences mais aussi pour savoir comment ils diversifient ces compétences. Cette question renvoie à la dimension de cohérence de la structure interne de la base de connaissance.

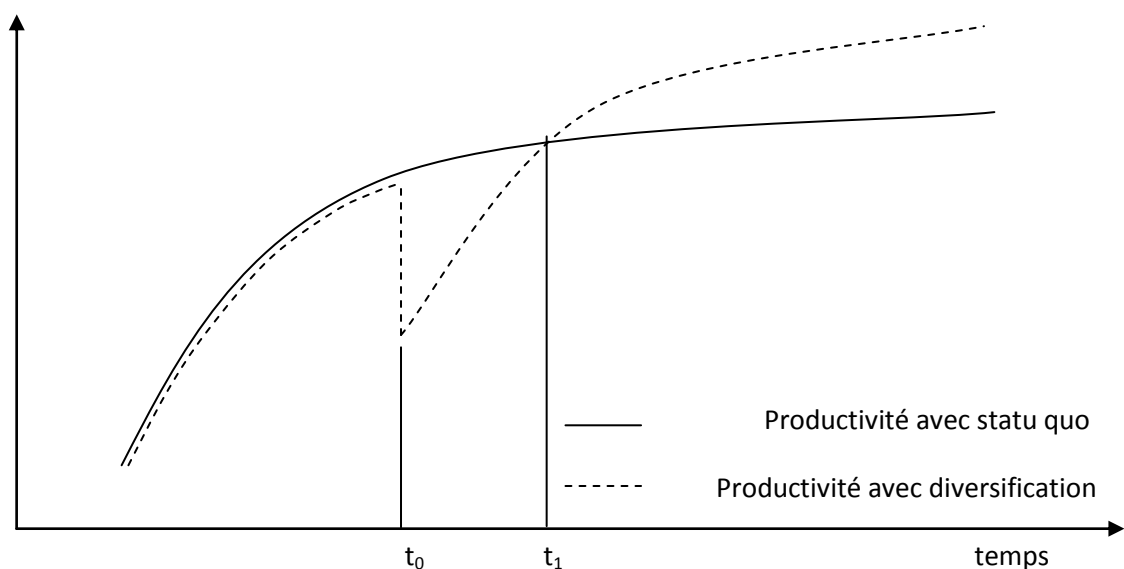
⁹ Le coefficient de corrélation est de 0.25 pour la France et de 0.22 pour la Grande Bretagne. Il est également significatif dans les deux cas.

La cohérence de la base de connaissance des inventeurs

L'approche traditionnelle considère le stock de capital de connaissances de l'inventeur comme homogène en l'approchant par exemple par l'expérience ou l'éducation (Hoisl, 2007a et b ; Turner *et al.*, 2003). Dans cette perspective, l'inventeur n'a pas d'arbitrage technologique à faire. Or, le capital de connaissance n'est pas librement transférable d'un champ technologique à l'autre car une partie de ce capital est spécifique au domaine technologique auquel il se rapporte. Investir un nouveau champ technologique nécessite à la fois un processus d'adaptation, voire de perte, des connaissances déjà acquises par l'inventeur. Ce processus est également coûteux notamment en temps. Face à ce coût lié à la diversification, il peut paraître plus profitable à l'inventeur de se spécialiser dans les domaines technologiques dont il a déjà la maîtrise. Mais il faut également relever que si l'inventeur choisit le statu quo technologique en restant dans les mêmes champs de compétences technologiques, ses gains de productivité se heurteront tôt ou tard à une limite. Suivant la terminologie de March (1991), il pourra exploiter mais non explorer, sachant que l'exploitation a nécessairement une durée limitée.

Le graphe suivant compare l'évolution de la productivité de l'inventeur dans deux scénarios, celui de se diversifier et celui de rester sur la technologie courante pour toujours (Jovanovic, 1994).

Figure 2 : Evolution de la productivité de l'inventeur suivant deux scénarios de diversification



Dans le cas où l'inventeur choisit de diversifier son portefeuille de technologie, sa productivité subit une chute en impact (t_0) du fait de la perte d'une partie de son capital de connaissances. Toutefois, les gains dynamiques liés à la nouvelle technologie peuvent être suffisamment importants pour rendre la diversification profitable à partir de t_1 . Dans le cas contraire, le choix du statu quo technologique sera meilleur.

On remarque également que le coût de la diversification ne dépend pas seulement des caractéristiques de la nouvelle technologie ciblée mais aussi de la structure d'ensemble de la base de connaissance existante de l'inventeur. Les coûts de la diversification vers une même nouvelle technologie seront d'autant plus importants que la technologie ciblée est 'éloignée' de la base de connaissance existante de l'inventeur.

Ces considérations sur l'arbitrage dans les choix et la direction de diversification de l'inventeur prolifique montrent que cette dernière n'est pas un processus aléatoire. La question se pose alors de savoir à quelles conditions la diversification technologique a un impact positif sur la productivité de l'inventeur.

Cette problématique a récemment fait l'objet d'un regain d'intérêt fondée sur deux contributions importantes : celle de Teece, Rumelt, Dosi et Winter (1994) sur la mesure de la distance technologique et celle de Saviotti (2010) sur l'approche de la connaissance entendue comme un ensemble de concepts (nœuds) reliés entre eux dans une structure de réseau avec des rapports de proximité. Dans ce nouveau cadre d'analyse qui a été appliqué aux firmes, la diversification technologique affecte positivement la productivité de la firme lorsque la direction de diversification préserve la cohérence de sa base de connaissance, cette cohérence étant définie par le degré de proximité des champs technologiques de la firme (Breschi *et al.*, 2003 ; Nesta, 2004). C'est cette même approche de la cohérence qu'on retiendra dans la suite en se situant au niveau individuel. En s'appuyant sur les travaux de ces auteurs, on rapportera alors la cohérence de la base de connaissance de l'inventeur prolifique à la proximité –dans un sens qui sera précisé - de ses champs technologiques. On s'attend alors à ce que la productivité d'un inventeur soit positivement affectée par le degré de diversité et de cohérence de sa base de connaissance.

La mesure de la proximité technologique

La cohérence de la base de connaissances des inventeurs entendue comme le degré de proximité des champs technologiques qui composent leur base de connaissance présuppose la

définition d'une distance qui mesure la proximité cognitive des champs technologiques dans l'espace de la connaissance.

Une détermination de la proximité des champs de connaissance a été introduite par Teece *et al.* (1994) basée sur le 'principe de survivance' selon lequel deux champs technologiques sont d'autant plus proches qu'ils apparaissent fréquemment en tandem dans les brevets des inventeurs. Autrement dit, deux technologies sont proches lorsque le nombre de brevets assignant simultanément ces deux technologies est grand. Il s'agit d'une distance 'révélée', la proximité de champs technologiques n'étant pas naturellement une variable observable.

Pour déterminer formellement la proximité entre deux technologies, on adopte le cadre méthodologique proposé par Nesta (2004). Soit N le nombre total de brevets enregistrés dans la base de brevets de l'USPTO et f_{ij} le nombre de brevets de cette base incluant simultanément les champs technologiques i et j . Alors, $s_{ij} = \frac{f_{ij}}{N}$ - le nombre de brevets assignant simultanément les technologies i et j rapporté au total des brevets- est une première approximation de la proximité des champs technologiques i et j .

Toutefois, ce résultat doit être comparé avec celui que l'on obtiendrait dans le cas où la répartition des technologies par brevets est purement aléatoire. Soit alors \hat{f}_{ij} le nombre de brevets incluant simultanément les champs technologiques i et j dans le cas où la répartition des technologies par brevets est aléatoire et $\hat{s}_{ij} = \frac{\hat{f}_{ij}}{N}$ la part de ces brevets dans le total des brevets. Si $r_{ij} = \frac{s_{ij}}{\hat{s}_{ij}} > 1$, on considère alors que les technologies i et j sont effectivement reliées entre elles et voisines l'une de l'autre. Par contre, si $r_{ij} = \frac{s_{ij}}{\hat{s}_{ij}} < 1$, alors les technologies sont éloignées l'une de l'autre, le nombre de brevets qui les incluent simultanément étant encore plus faible que si la répartition avait été aléatoire.

L'indicateur r_{ij} représente l'inverse de la 'distance' entre les technologies i et j . L'ensemble des niveaux de proximités r_{ij} entre les différents couples de l'espace des champs technologiques sera alors représenté par la matrice de proximité technologique¹⁰ $R = (r_{ij})_{i=1,\dots,N; j=1,\dots,N}$

¹⁰ La détermination de \hat{s}_{ij} peut se faire par une approche non paramétrique où \hat{s}_{ij} sera alors égal au produit des distributions marginales $s_{.j} \cdot s_{i.}$. Une méthode alternative de calcul de \hat{s}_{ij} est de considérer que le nombre de co-occurrences des champs technologiques i et j suit une loi

Quelques caractéristiques premières de l'espace des connaissances

La matrice de proximité $R = (r_{ij})$ a été construite à partir de la base de brevets de l'USPTO de 2006 dans laquelle un brevet a autant d'enregistrements que de champs technologiques qui lui sont assignés. La nomenclature technologique utilisée est celle de l'*International Patent Classification* à quatre digits. De cette base, on a extrait les enregistrements correspondant uniquement aux années égales ou antérieures à l'année 2002. Préalablement, tous les brevets ne contenant qu'un seul champ technologique ont été supprimés car ils n'offrent aucune information sur la proximité des couples de technologies.

On aboutit alors à une matrice de proximité carrée et symétrique de 625 lignes et colonnes qui permet de décrire la structure de l'espace des connaissances. Chaque élément (i, j) de cette matrice représente la proximité (l'inverse de la distance) des deux champs technologiques i et j auxquels il se rapporte.

Dans cette représentation de l'espace des technologies dans le monde, 39.734 liaisons significatives ont été mises en évidence. Un champ technologique possède en moyenne 63.6 liaisons significatives avec les autres technologies de l'espace dans la nomenclature IPC à 4 digits.

Tableau 3 : Résumé statistique sur la répartition du nombre de liaisons par champ technologique

Variable	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Nbr de champs technol.
Nombre de liaisons	63.6	34.2	2	188	625

Le maximum de liaisons qu'un champ technologique entretient avec le reste de l'espace technologique est de 188. Il correspond à la technologie 'B65G' se rapportant aux 'Dispositifs de transport ou d'emmagasinement, p.ex. transporteurs pour chargement ou basculement; Systèmes transporteurs pour magasins; Transporteurs pneumatiques à tubes' appartenant à la section (Techniques industrielles et Transport).

hypergéométrique. Les champs technologiques i et j sont reliés si le nombre de co-occurrences observées de i et j est supérieur à leur nombre théorique donné par l'espérance de cette loi. Cf NESTA (2004).

De manière générale, le traitement statistique de ces liaisons technologiques (non reproduit dans ce papier¹¹) permet de mettre en évidence au moins trois caractéristiques importantes de l'espace des connaissances :

- Les liaisons technologiques sont localisées. L'espace des connaissances est polarisé car les liaisons technologiques sont plus nombreuses à l'intérieur des sections technologiques qu'entre ces sections.
- L'espace des connaissances est également hétérogène avec une asymétrie dans la répartition des champs technologiques suivant la densité de leur voisinage. Un faible nombre de champs technologiques possède un grand nombre de liaisons confirmant une hypothèse déjà avancée par Saviotti (2011).
- Enfin, certaines technologies ont une proximité cognitive avec un grand nombre d'autres champs technologiques. Ce sont des technologies générales (ou génériques suivant Breschi *et al.* 2003) par opposition aux technologies spécifiques situées à la périphérie de l'espace des connaissances (Breschi *et al.* 2003, Bresnahan et Trajtenberg, 1995). Ces technologies générales, du fait de leur complémentarité avec un grand nombre d'autres technologies, seraient plus facilement transférables que d'autres dans le processus de diversification technologique des inventeurs.

La mesure de la cohérence de la base de connaissance des inventeurs prolifiques

La cohérence de la base de connaissance d'un inventeur est ainsi reliée à l'intensité avec laquelle ses champs de connaissance sont reliés entre eux. Muni de la mesure de distance technologique définie ci-dessus, cette cohérence peut être calculée, en suivant les deux étapes proposées par Teece *et al.* (1994) :

- *La proximité de la technologie i par rapport à l'ensemble des autres champs technologiques.* Etant donné un champ technologique i , on définit d'abord la proximité de cette technologie i par rapport à l'ensemble des autres champs technologiques I_{-i} de l'inventeur comme la somme pondérée des distances r_{ij} entre la technologie i considérée et les autres technologies j de la base de connaissance de l'inventeur considéré. La pondération retenue est la part des brevets des champs j dans le total des brevets de l'inventeur. On obtient alors la Proximité Moyenne Pondérée (PMP) du

¹¹ Cf Bouklia-Hassane (2013) pour une analyse plus détaillée.

champ technologique i et qui reflète la densité plus ou moins grande du voisinage de cette technologie.

$$PMP_i = \sum_{j \neq i} \left(\frac{brv_j}{B} \right) r_{ij}$$

où B est le total de brevets de l'inventeur, $\left(\frac{brv_j}{B} \right)$ le poids affecté à la technologie j de l'inventeur et r_{ij} la distance entre les champs technologiques i et j .

Ce calcul est répété pour l'ensemble des technologies i de la base de connaissance de l'inventeur. On obtient alors les valeurs des proximités moyennes pondérées de l'ensemble des N champs technologiques de l'inventeur considéré : PMP_i pour $i = 1, \dots, N$.

- *Le niveau de cohérence de la base de connaissance de l'inventeur.* Le calcul précédent aura permis de mesurer la densité des relations PMP_i qu'entretient chaque technologie i de l'inventeur avec le reste des technologies de son 'portefeuille' technologique. Un indicateur synthétique du niveau de cohérence de la base de connaissance de l'inventeur sera alors une somme pondérée des densités PMP_i des technologies de l'inventeur. Comme précédemment le poids affecté à chaque champ technologique i sera évalué par le nombre de brevets de l'inventeur dans cette technologie sur son total des brevets. Formellement :

$$Cohérence_base_inventeur = \sum_i \left(\frac{brv_i}{B} \right) PMP_i$$

Cet indicateur représente ainsi l'intensité des relations croisées entre les champs technologiques de l'inventeur : plus cet indicateur est élevé et plus la cohérence de la base de connaissances de l'inventeur sera grande.

Cet indicateur de cohérence a été construit pour l'ensemble des inventeurs prolifiques (55678) de la base de données de l'USPTO. Le tableau 4 suivant reproduit les caractéristiques statistiques de cet indicateur pour la France et la Grande Bretagne.

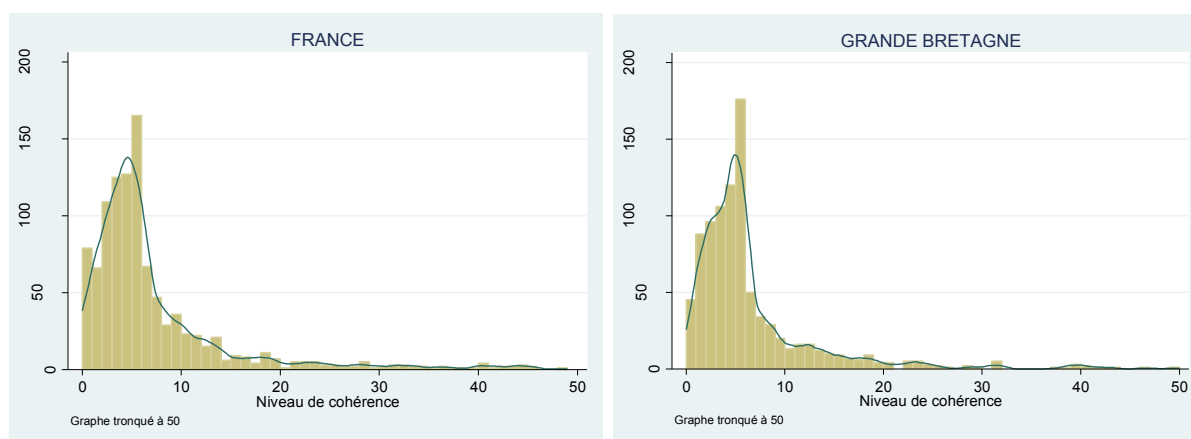
Tableau 4 : Caractéristiques statistiques de l'indicateur de cohérence de la base technologique des inventeurs prolifiques. France et Grande Bretagne

	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Nombre observations
FR	10.6	25.2	0	380.8	1077
GB	8.9	28.2	0	531.7	918
Total USPTO	8.0	18.5	0	805.9	55678

Le résultat remarquable est la grande cohérence de la base de connaissances des inventeurs français et britanniques comparativement au reste des inventeurs de l'USPTO. Pour un inventeur prolifique français, la proximité de deux champs technologiques de sa base de connaissances est en moyenne plus de 10 fois plus élevée que si la distribution des champs technologiques avait été aléatoire. En Grande Bretagne, tout en étant importante, cette cohérence de la base de connaissance des inventeurs prolifiques est légèrement moins élevée.

La répartition des inventeurs français et britanniques par niveau de cohérence de leur base de connaissance est présentée dans la figure 3 (a et b) ci-dessous.

Figure 3 : Répartition des inventeurs par niveau de cohérence



a- France

b- Grande Bretagne

Cette répartition présente la même asymétrie que nous avons relevée pour la diversification technologique que ce soit pour la France ou la Grande Bretagne. Le coefficient du skewness

qui mesure l'asymétrie de la distribution montre que la répartition des inventeurs britanniques présente, avec une valeur de 14.3, une plus forte asymétrie que celle des inventeurs français.

Ainsi, si la base de connaissance des inventeurs français présente une plus grande cohérence, par contre, la répartition des inventeurs par niveau de cohérence présente davantage de dispersion et d'asymétrie dans le cas de la Grande Bretagne.

SECTION 4 : L'IMPACT DE LA DIVERSIFICATION ET DE LA COHERENCE DU CAPITAL DE CONNAISSANCES SUR LA PRODUCTIVITE DES INVENTEURS

La spécification du modèle

Muni des indicateurs de diversité et de cohérence calculés, on se propose dans cette section de tester l'hypothèse d'un impact positif de la diversification et de la cohérence de la base de connaissances des inventeurs sur leur productivité du fait des opportunités d'invention par fertilisation croisée que la diversification offre à l'inventeur.

Pour cela, on estime un modèle de productivité des inventeurs augmenté des variables de diversité et de cohérence :

$$\begin{aligned} & \text{Nombre_brevet}_i \\ &= f(\text{age}_i, \text{duration_inv}_i, \text{diversité}_i, \text{cohérence}_i, \text{mobilité}_i, \text{capacité_innov}_i, \text{réseau}_i, \\ & \text{dummy_champs_techn}_j) \end{aligned}$$

où l'indice i se rapporte aux inventeurs et j aux champs technologiques.

On décrit dans ce qui suit les variables retenues dans la spécification du modèle. Les variables de diversification et de cohérence telles qu'elles ont été définies précédemment sont les variables d'intérêt de notre modélisation. On contrôle toutefois la régression par l'introduction d'autres facteurs qui peuvent potentiellement avoir un impact sur la productivité des inventeurs.

Parmi les facteurs individuels, l'âge (age) est susceptible d'affecter la capacité d'invention de l'inventeur mais cette variable n'est pas directement observée dans les bases de données. On suit la recommandation de Trajtenberg (2006) en approchant l'âge de l'inventeur par « l'âge » de son premier brevet en 2002 ($\text{âge} = 2002 - \text{la date du premier brevet}$) qui constitue en fait un pseudo âge.

On introduit également l'expérience acquise par l'inventeur (*duration_inv*) comme un facteur potentiel de productivité de l'inventeur. De même que l'« âge » de l'inventeur, cette variable n'est pas directement observable. Aussi, on l'approxime par la durée de l'activité de l'inventeur, elle-même approchée par la durée qui s'écoule entre le premier et le dernier brevet enregistrés par celui-ci.

La mobilité (*mobilité*) de l'inventeur est traditionnellement considérée comme un facteur affectant positivement la productivité des inventeurs (Trajtenberg, 2006). Elle peut prendre plusieurs formes : mobilité entre entreprises, entre institutions, entre villes ou régions, entre pays, etc. On s'intéresse uniquement à la mobilité entre firmes.

Au niveau firme, on s'attend à ce qu'un inventeur soit d'autant plus productif que la capacité d'innovation des firmes qui l'emploient est élevée. La firme peut être plus ou moins engagée dans l'activité d'innovation. Kim *et al.* (2004) par exemple considèrent que les grandes firmes sont davantage prédisposées à s'engager dans la R&D car elles ont plus facilement accès au financement, disposent de laboratoires plus modernes et sont plus ouvertes aux innovations. Alors que Kim *et al.* (2004 : p 4) approchent la taille de l'entreprise par le chiffre d'affaires et l'effectif employé, on rapportera la 'taille' de l'entreprise, sur le plan de sa capacité d'innovation, à l'effectif d'inventeurs prolifiques employés (*cap_innov_ip*) au sein de la firme ou, alternativement, au stock de brevets enregistrés par la firme (*cap_innov_brvt*) .

La productivité des inventeurs dépend également de l'intensité des relations de collaboration que ceux-ci nouent au sein de réseaux. Cet aspect est introduit à travers un indicateur simple qui est le nombre moyen de co-inventeurs de l'inventeur considéré (*reseau_inv*). On s'attend à ce que la taille moyenne de l'équipe d'un inventeur ait un effet positif sur le nombre de ses inventions.

Enfin, on introduit une variable indicatrice des six macro-champs technologiques de l'inventeur pour prendre les éventuelles spécificités sectorielles dans l'activité d'innovation.¹²

Le tableau 5 présente la matrice de corrélation des variables du modèle.

¹² Ces macro-champs technologiques sont ceux de la nomenclature technologique de Hall *et al.* (2001).

Tableau 5 : Matrice de corrélation entre les variables du modèle

	Nbr_Brevet	Cohérence	Divers_atr	Age	Duration_inv	Mobil.	Capac_innov	Reseau
nbr_brevet	1							
Cohérence	0.12**	1						
divers_atr	0.29**	-0.28**	1					
age	0.16**	-0.02	0.22**	1				
duration_inv	0.22**	-0.07**	0.34**	0.75**	1			
mobilité	0.29**	-0.05*	0.49**	0.15**	0.30**	1		
capac_innovation	0.06**	-0.05*	-0.05	0.01	-0.05*	-0.30**	1	
reseau	0.10**	0.36**	-0.22**	-0.18**	-0.16**	-0.10**	0.17**	1

** : significatif à 1% ; * : significatif à 5%.

La corrélation entre les variables explicatives est, en général, faible écartant ainsi la multicollinéarité des variables hormis pour l'expérience (*duration_inv*) et l'âge de l'inventeur.

Pour estimer le modèle, on a retenu un modèle de régression binomiale négative tenant compte du fait que la variable expliquée n'est pas une variable réelle mais ne prend que des valeurs entières (*count variable*).

Résultats d'estimation et discussion

Les estimations sont menées pour le cas des inventeurs français et britanniques. Le tableau 6 qui présente les résultats d'estimation respectivement pour ces deux pays montre que, dans l'ensemble, les coefficients ont le signe attendu, hormis lorsque l'indicateur de diversification utilisé est celui de Herfindahl. Les variables d'intérêt que sont les variables de diversification – notamment lorsque celle-ci est évaluée par le nombre de champs technologiques avec ATR- et de cohérence ont des coefficients positifs et significatifs. Les coefficients des variables de contrôle (expérience, mobilité, capacité d'innovation des firmes qui emploient les inventeurs, importance du réseau de l'inventeur) ont également le signe attendu et sont significatifs hormis pour la Grande Bretagne dont la capacité d'innovation des firmes est affectée d'un signe négatif mais non significatif.

Tableau 6 : Productivité, Diversité et Cohérence des inventeurs prolifiques.

Variable dépendante: Nombre de brevets enregistrés						
VARIABLES	FRANCE			GRANDE BRETAGNE		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Divers_nbr	0.0308*** (9.152)			0.0218*** (6.297)		
Divers_atr		0.0246*** (6.844)			0.0164*** (4.627)	
Diversite_HHI			-0.244*** (-3.542)			-0.411*** (-5.552)
Cohérence	0.000966*** (3.619)	0.000911*** (3.356)	0.000909*** (3.225)	0.00154*** (5.866)	0.00155*** (5.793)	0.00157*** (5.884)
Age	0.00222 (0.816)	0.00230 (0.831)	0.00232 (0.829)	0.00360 (1.183)	0.00336 (1.095)	0.00249 (0.816)
Duration_inv	0.0135*** (4.496)	0.0152*** (4.972)	0.0209*** (6.877)	0.00483 (1.556)	0.00576* (1.842)	0.00970*** (3.113)
Nbr_move	0.0158*** (5.915)	0.0181*** (6.742)	0.0252*** (9.418)	0.0141*** (5.282)	0.0170*** (6.532)	0.0263*** (11.12)
Cap_innov_brvt	0.000159*** (7.690)	0.000171*** (8.153)	0.000192*** (9.118)	-7.07e-06 (-0.360)	-5.59e-06 (-0.282)	3.63e-06 (0.185)
Reseau	0.0276 (1.393)	0.0243 (1.207)	0.00848 (0.418)	0.0769*** (3.807)	0.0749*** (3.667)	0.0535*** (2.642)
2.Dum_cat_tech	-0.110** (-2.153)	-0.109** (-2.106)	-0.0726 (-1.387)	0.0591 (1.158)	0.0529 (1.027)	0.0343 (0.671)
3.Dum_cat_tech	0.120*** (3.148)	0.118*** (3.054)	0.0577 (1.436)	0.0599 (1.357)	0.0478 (1.074)	-0.0330 (-0.732)
4.Dum_cat_tech	-0.159*** (-3.533)	-0.163*** (-3.577)	-0.150*** (-3.260)	0.0462 (0.983)	0.0453 (0.954)	0.0335 (0.710)
5.Dum_cat_tech	0.0233 (0.549)	0.0142 (0.330)	-0.00526 (-0.120)	0.0902** (2.074)	0.0926** (2.113)	0.102** (2.339)
6.Dum_cat_tec	0.0195 (0.391)	0.0124 (0.245)	0.00142 (0.0275)	0.0994** (1.963)	0.0910* (1.784)	0.0469 (0.919)
Constant	2.468*** (36.86)	2.490*** (36.45)	2.739*** (35.71)	2.519*** (33.94)	2.548*** (33.81)	2.910*** (34.36)
Observations	1,077	1,077	1,077	917	917	917

z-statistics in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Méthode d'estimation: Binomiale négative avec variables indicatrices des champs technologiques.

Ces résultats d'estimation confirment ainsi l'hypothèse que la diversité et surtout la cohérence de la base de connaissances des inventeurs prolifiques affectent positivement leur productivité.

Pour augmenter la taille de l'échantillon, nous avons également procédé à une estimation du modèle en regroupant les données des deux pays. On a introduit alors une variable indicatrice de la France (la base étant la Grande Bretagne) pour prendre en compte d'éventuelles spécificités-pays.

**Tableau 7 : Productivité, Diversification et Cohérence des inventeurs prolifiques..
FRANCE ET GRANDE BRETAGNE**

Variable dépendante: Nombre de brevets enregistrés			
VARIABLES	(1)	(2)	(3)
Divers_ATR		0.0219*** (8.592)	
Diversite_HHI			-0.317*** (-6.177)
Cohérence	0.000956*** (5.189)	0.000910*** (4.857)	0.000884*** (4.619)
Age	0.00164 (0.800)	0.00149 (0.719)	0.00119 (0.570)
Duration_inv	0.0104*** (4.769)	0.0119*** (5.376)	0.0169*** (7.625)
Nbr_move	0.0129*** (6.844)	0.0157*** (8.354)	0.0244*** (13.56)
Cap_innov_brvt	8.33e-05*** (5.901)	9.13e-05*** (6.392)	0.000108*** (7.552)
Reseau_ip	0.0669*** (4.706)	0.0647*** (4.486)	0.0463*** (3.205)
2.Dum_cat_techn.	-0.0184 (-0.504)	-0.0207 (-0.560)	-0.00904 (-0.243)
3.Dum_cat_techn.	0.126*** (4.386)	0.122*** (4.168)	0.0520* (1.725)
4.Dum_cat_techn.	-0.0625* (-1.892)	-0.0646* (-1.930)	-0.0614* (-1.825)
5.Dum_cat_techn.	0.0431 (1.399)	0.0401 (1.286)	0.0363 (1.154)
6.Dum_cat_techn.	0.0544 (1.511)	0.0479 (1.312)	0.0270 (0.735)
1.Dum_FR	0.0694*** (3.711)	0.0701*** (3.695)	0.0691*** (3.612)
Constant	2.435*** (48.38)	2.459*** (47.95)	2.760*** (47.76)
Observations	1,994	1,994	1,994

z-statistics in parentheses

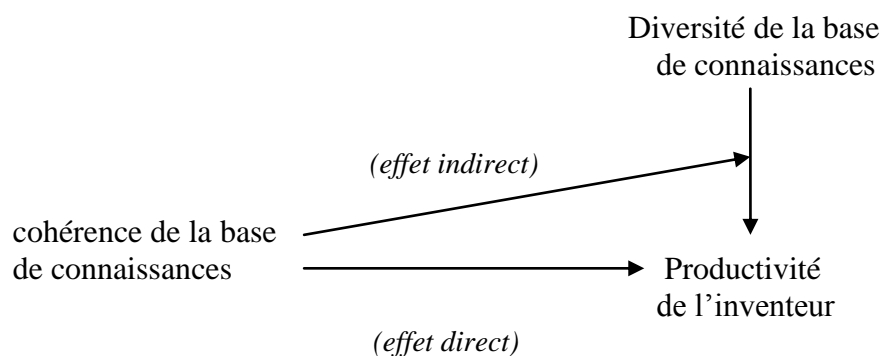
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Méthode d'estimation: Binomiale négative avec dummy_techn et dummy_pays

On constate que les coefficients des variables d'intérêt gardent le même signe que dans le modèle précédent : la variable de diversification avec ATR et la variable de cohérence notamment préservent leur effet positif et significatif sur la productivité des inventeurs.

L'autre résultat remarquable de cette régression est la forte significativité du coefficient de la variable indicatrice du pays dont le signe positif indique que les inventeurs français, *toute chose égale par ailleurs*, notamment à niveau de diversité et de cohérence égales, sont plus productifs en termes de brevets que les inventeurs britanniques.

Les estimations menées plus haut ont testé l'impact direct de la cohérence sur la productivité de l'inventeur individuel. Un prolongement possible de cette démarche est de voir si la cohérence de la base de connaissance de l'inventeur n'affecte pas également sa productivité par un canal indirect. Pour cela, on se propose de tester un impact éventuel de la cohérence de la base de connaissance de l'inventeur sur la productivité transitant par l'intensité de la relation entre la diversité et la productivité de l'inventeur. Ceci nous permet de tester l'hypothèse que la diversification technologique est d'autant plus productive pour l'inventeur prolifique que la cohérence de sa base de connaissances est élevée.



Pour tester la présence de cet effet indirect de la cohérence sur la productivité, on introduit dans le modèle un terme croisé représentant le produit des indicateurs de diversité et de cohérence : $\text{divers_coherence} = \text{diversité} * \text{cohérence}$.

L'équation de la productivité de l'inventeur se réécrit alors (dans sa partie relative aux variables de diversité et de cohérence) :

$$\begin{aligned} & \alpha * \text{cohérence} + \beta * \text{diversité} + \gamma(\text{diversité} * \text{cohérence}) \\ & = \alpha * \text{cohérence} + (\beta + \gamma * \text{cohérence}) * \text{diversité} \end{aligned}$$

Toute chose égale par ailleurs, l'impact de la diversification sur la productivité de l'inventeur ($\beta + \gamma * \text{cohérence}$) est d'autant plus grand que le niveau de cohérence de la base de connaissance est élevé à condition que les coefficients β et γ soient positifs.

Le tableau 8 présente les résultats des nouvelles estimations incorporant le nouveau terme croisé diversité*cohérence. On constate que le coefficient à la fois du terme croisé (Diversité*Cohérence) et de la variable (Cohérence) sont positifs. Cela valide l'hypothèse que la cohérence, en plus de son effet direct, a un effet indirect positif passant par une plus forte intensité de la relation entre la diversité et la productivité de l'inventeur. Plus la cohérence de la base de connaissance est élevée et plus l'impact de la diversité sur la productivité de l'inventeur est grand.

Toutefois, le coefficient de la variable de cohérence est faiblement significatif indiquant ainsi que l'effet indirect de la cohérence sur la productivité est plus significatif que son effet direct. Pour confirmer ce résultat, on a retiré, dans la colonne 2, la variable cohérence de la régression. Le terme croisé devient alors fortement significatif confortant ainsi l'hypothèse que l'impact de la cohérence de la base de connaissance sur la productivité de l'inventeur passe surtout par un canal indirect, en affectant positivement l'intensité de la relation entre la diversification de l'inventeur prolifique et sa productivité.

Tableau 8 : Productivité, Diversification et Cohérence – FR/GB

Variable dépendante: Nombre de brevets enregistrés		
VARIABLES	(1)	(2)
Divers_atr	0.0208*** (8.010)	0.0199*** (7.918)
Cohérence	0.000418 (1.372)	
Diversité*Cohérence	0.000115** (2.033)	0.000176*** (5.070)
Age	0.00180 (0.866)	0.00228 (1.111)
Duration_inv	0.0118*** (5.340)	0.0116*** (5.258)
Nbr_move	0.0152*** (7.999)	0.0149*** (7.893)
Cap_innov_brvt	8.98e-05*** (6.286)	8.68e-05*** (6.147)
Reseau_ip	0.0650*** (4.509)	0.0678*** (4.755)
2.Dum_cat_techn.	-0.0136 (-0.367)	-0.0127 (-0.342)
3.Dum_cat_techn.	0.119*** (4.092)	0.130*** (4.653)
4.Dum_cat_techn.	-0.0575* (-1.712)	-0.0571* (-1.698)
5.Dum_cat_techn.	0.0428 (1.373)	0.0413 (1.326)
6.Dum_cat_techn.	0.0536 (1.466)	0.0541 (1.480)
1.Dum_FR	0.0673*** (3.541)	0.0639*** (3.391)
Constant	2.461*** (48.02)	2.462*** (48.02)
Observations	1,994	1,994

z-statistics in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Méthode d'estimation: Binomiale négative avec dummy_primarycat et dummy_pays

CONCLUSION

Ce papier avait pour objectif de réexaminer les déterminants de la productivité des inventeurs prolifiques à la faveur d'une approche qui considère la diversification et la cohérence de la base de connaissances des inventeurs comme des facteurs explicatifs de la productivité des inventeurs en termes de brevets. A cet effet, se basant sur la méthodologie introduite par Teece *et al.* (1994), des indicateurs de diversification technologique des inventeurs prolifiques et de cohérence de leur base de connaissances ont été élaborés.

La construction de ces indicateurs nous a permis d'observer que les inventeurs britanniques sont comparativement plus diversifiés en moyenne, bien qu'avec un faible écart, que les inventeurs français. Cet écart de moyenne s'accompagne également d'une asymétrie dans la répartition des inventeurs suivant leur degré de diversification technologique. Cette asymétrie est révélatrice d'une concentration des inventeurs sur les faibles niveaux de diversification technologique. Elle s'observe pour les deux pays bien qu'avec une légère accentuation dans le cas des inventeurs britanniques.

La construction de l'indicateur de cohérence s'est appuyée sur la notion de distance cognitive entre deux champs technologiques approchée par le nombre de brevets qui citent simultanément ces champs technologiques. La cohérence de la base de connaissance de l'inventeur indique alors le degré de proximité des champs technologiques, pris deux à deux, qui la composent. Le résultat remarquable est la grande cohérence de la base de connaissances des inventeurs français et britanniques comparativement au reste des inventeurs de l'USPTO. Toutefois, si les inventeurs des deux pays présentent un niveau de cohérence moyen plus grand que celui de la moyenne de l'ensemble des inventeurs de l'USPTO, il reste que les inventeurs français ont un niveau de cohérence sensiblement supérieur à celui de la Grande Bretagne. En revanche, la répartition des inventeurs britanniques par niveau de cohérence de leur base de connaissances présente une dispersion et une asymétrie plus grande que dans le cas des inventeurs français.

Dans ce cadre d'analyse, on s'attend à ce que la diversification technologique et la cohérence de la base de connaissances des inventeurs affecteraient positivement leur productivité. Les résultats obtenus valident cette hypothèse et révèlent un effet significatif de ces variables sur la productivité des inventeurs tant français que britanniques : la productivité des inventeurs de ces pays dépend non seulement de leur capital de compétences mais aussi de sa diversité et de

la manière dont les diverses compétences sont combinées. L'impact de la cohérence apparaît par ailleurs plus significatif dans le cas des inventeurs britanniques que dans celui des inventeurs français.

Ce résultat nous a conduit à rechercher à identifier un canal de transmission indirect de l'effet de la cohérence sur la productivité des inventeurs prolifiques en faisant l'hypothèse que la diversification technologique affecterait la productivité de l'inventeur surtout lorsque la cohérence de la base de connaissances de celui-ci est élevée. Les résultats obtenus confirment cette prédiction et montrent bien plus que cet effet indirect de la cohérence est plus significatif que son impact direct sur la productivité des inventeurs.

Cet ensemble de résultats est révélateur de l'importance de la dimension individuelle dans l'analyse du processus d'innovation. Ils nous semblent apporter des éclairages complémentaires et utiles à l'approche en termes de système national d'innovation – tournée exclusivement vers les structures institutionnelles- notamment sur les aspects de la créativité, de l'invention et de leurs sources.

BIBLIOGRAPHIE

Antonelli C., J. Krafft et F. Quatraro (2010), '*Recombinant Knowledge and Growth: The Case of ICTs*', Working paper No. 01/2010, Université de Torino.

Breschi, S., Lissoni, F. and Malerba, F. (2003). Knowledge-relatedness in firm technological diversification. *Research Policy* 32, 69-87;

Bresnahan T. F. et M. Trajtenberg (1995), 'General Purpose Technologies 'Engines of Growth'?', *Journal of Econometrics*, V.65

Bouklia-Hassane J.R. (2013), '*Etude sur les inventeurs prolifiques: Une analyse comparative du rôle des inventeurs prolifiques dans la spécialisation technologique des firmes et des pays*', Presses Académiques Francophones Edition.

Cantwell J. (1989), '*Technological innovation and multinational corporations*'. Basil Blackwell, Oxford.

Dupouët, O., M. Yildizoglu, P. Cohendet (2003), 'Morphogenèse de communautés de pratique', *Revue d'Economie Industrielle*, V103 : 91-110.

Ernst H., (1999), '*Key inventors: implications for human resource management in R&D*', Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET '99), pp. 420-427.

Felin, T., N. J. Foss, (2005), 'Strategic organization: A field in search of micro-foundations', *Strategic Organization*. 3 441–455.

Felin, T., W. S. Hesterly, (2007), 'The knowledge-based view, heterogeneity, and new value creation: Philosophical considerations on the locus of knowledge', *Acad. Management Rev.* 32 195–218.

Felin T., N. J. Foss, K. H. Heimeriks et T. L. Madsen (2012), 'Microfoundations of Routines and Capabilities: Individuals, Processes, and Structure', *Journal of Management Studies*, 49(8), 1351-1374.

Gambardella A., Harhoff D., Verspagen B., (2006), 'The value of Patents' Paper presented at the NBER Conference. The Economics of Intellectual Property. Cambridge (MA), July 19th.

Gay C., W. Latham et C. Le Bas (2008), 'Collective Knowledge, Prolific Inventors and the Value of Inventions: An Empirical Study of French, German and British Patents in the US Patents, 1975–1999', *Economics of Innovation and New Technology*, V. 17

Gittelman M., B. Kogut (2003), 'Does Good Science Lead to Valuable Knowledge? Biotechnology Firms and the Evolutionary Logic of Citation Patterns', *Management Science*, V. 49 (4): 366-382

Hall B. H., A. B. Jaffe et M. Trajtenberg (2001), 'The NBER Patent Citations Data File: Lessons, Insights and Methodological Tools' Working Paper 8498 NBER.

Hoisl K. (2007a), 'Tracing mobile inventors—The causality between inventor mobility and inventor productivity', *Research Policy*, V 36, Issue 5, p. 619–636

Hoisl K. (2007b) : 'A study of inventors: incentives, productivity and mobility' Gabler edition wissenschaft.

Kahn B. Z. and Sokoloff K. L., (2004), 'Institutions and Democratic in 19th –Century America: Evidence from "Great Inventors," 1790-1930'. *American Economic Review*, Papers and Proceedings. May, pp 395-401.

Kim, J.; S. J. Lee et G. Marschke (2005) 'The influence of university research on industrial innovation' NBER Working Paper N°11447.

Kotha R., Y. et Zheng G. George (2010), 'Entry Into New Niches: The Effects Of Firm Age And The Expansion Of Technological Capabilities On Innovative Output And Impact', *Strategic Management Journal*, 32(9), 1011-1024.

Latham, W., C. Le Bas, R. J. Bouklia-Hassane et D. Volodin (2011), 'Interregional Mobility, Productivity and the Value of Patents for Prolific Inventors in France, Germany and the U.K' Working Paper n° 2011-06, Alfred Lerner College of Business&Economics, University of Delaware.

Latham W., C. Le Bas, D. Volodin (2012), 'Mobility, Productivity and Patent Value for Asian Prolific Inventors: China, Japan, Korea and Taiwan', 1975-2010' WP 1227, GATE

Laursen, K. (1998), 'Revealed Comparative Advantage and the Alternatives as Measures of International Specialization', DRUID working paper n. 98-30.

Le Bas C, A. Cabagnols et J. R. Bouklia-Hassane (2010) : '*Prolific Inventors: Who Are They and Where Do They Locate? Evidence From a Five Countries Us Patenting Data Set*' Working Paper ICER No. 14/2010.

Leiponen A., (1996), 'Education, Tenure and Innovation in Finnish Manufacturing Firms', IIASA Working Papers, Laxenburg, Austria.

Leten B., R. Belderbos et B. Van Looy (2006), '*Technological diversification, coherence and performance of firms*', Katholieke Universiteit Leuven, MSI 0706

Lotka A.J., (1926), 'The frequency distribution of scientific productivity', *Journal of the Washington Academy of Science* 16(2), 317-323.

Lundvall, B.-Å., (1992), '*National Systems of Innovation - Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*', London: Pinter Publishers.

Lundvall, B.-Å., B. Johnson, E. Andersen, B. Dalum (2002), 'National systems of production, innovation and competence building', *Research Policy* V31: 213-231.

Malerba, F. et L. Orsenigo (1996), 'Schumpeterian patterns of innovation are technology-specific', *Research Policy* 25.

Malerba F., M. L. Mancusi et F. Montobbio (2001), '*The Determinants of Technological Specialization and its Dynamics*' CESPRI, Mai.

Malerba F. et F. Montobbio (2003), 'Exploring factors affecting international technological specialization: the role of knowledge flows and the structure of innovative activity', *Journal of Evolutionary Economics*, 13(4), 411-434.

March J. (1991), 'Exploration and Exploitation in Organizational Learning', *Organization Science*, V2 (1), 71-87.

Narin F. et Breitzman A., (1995), 'Inventive productivity', *Research Policy*, V.24, p.507-519.

Nelson R. R., (1993), '*National Innovation Systems: A Comparative Analysis*', Oxford: Oxford University Press.

Nesta L. (2004), '*Knowledge and Productivity in the World's Largest Manufacturing Corporations*', SPRU Working Paper n°119.

Nesta L. et P. Patel (2005), 'National Patterns of Technology Accumulation: Use of Patent Statistics', p. 531-551 in H.F. Moed W. Glänzel U. Schmoch (ed.) '*Handbook of Quantitative Science and Technology Research: The Use of Publication and Patent*', Kluwer Academic Publishers.

Nesta, L. and Saviotti, P.P. (2005), 'Coherence of the knowledge base and the firm's innovative performance: Evidence from the US pharmaceutical industry', *Journal of industrial economics* 53(1).

Paruchuri S. (2009), 'Intraorganizational Networks, Interorganizational Networks, and the Impact of Central Inventors: A Longitudinal Study of Pharmaceutical Firms', *Organization Science*, Published online in Articles in Advance, January 22.

Pilkington A., L. L. Lee, C. K. Chan et S. Ramakrishna, (2009), 'Defining key inventors: A comparison of fuel cell and nanotechnology industries', *Technological Forecasting and Social Change* 76 (1), pp. 118-127.

Porter M. (1986), '*L'avantage concurrentiel*' InterEditions, Paris.

Rothaermel F.T. et Hess A.M., (2007), 'Building Dynamic Capabilities', *Organization Science* 18(6), pp. 898–921.

Rycroft R.W et D.E Kash (1999), '*The complexity challenge: technological innovation for the 21st century*', Cassell Academic Publishers

Saviotti P.P. (2010), 'Knowledge, complexity and networks' in C. Antonelli (Ed) *Handbook on the economic complexity of technological change* (2010).

Saxenian A. L. (1999), '*The Silicon Valley-Hsinchu Connection: Technical Communities and Industrial Upgrading*', SIEPR Discussion Paper, n° 99-10, Stanford Institute of Economic Policy Research.

Singh, J., (2005), "Collaborative networks as determinants of knowledge diffusion patterns", *Management Science* 51, p. 756–770.

Soete L. (1987), 'The impact of technological innovation on international trade patterns: The evidence reconsidered', *Research Policy*, p. 101–13

Teece D.J., (2003), 'Expert talent and the design of (professional services) firms', *Industrial and Corporate Change*, V. 12, Issue 4.

Teece, D.J., Rumelt, R., Dosi, G., Winter, S.G. (1994), 'Understanding corporate coherence: theory and evidence'. *Journal of Economic Behaviour Organisation* 23, 1–30.

Teece, D. J., G. Pisano, A. Shuen, (1997), 'Dynamic capabilities and strategic management', *Strategic Management J.*, V18: 509–533.

Trajtenberg, M. (2006): '*The mobility of inventors and the productivity of research*' Power-point Presentation mimeo.

Trajtenberg, M., Shiff, G., Melamed, R. (2006), '*The Names Game: Harnessing Inventors, Patent Data for Economic Research*', NBER WP, n°12479, Cambridge MA;

Turner L. et J. Mairesse (2002) : '*Individual Productivity Differences in Public Research : How important are non-individual determinants? An Econometric Study of French Physicists*' (1986-1997) Working Paper.

<http://www.jourdan.ens.fr/piketty/fichiers/semina/lunch/Turner2005.pdf>.

Von Hippel E., S. Thomke, M. Sonnack (1999), '*L'innovation chez 3M*' in : '*Les meilleurs articles de la Harvard Business Review*', Editions d'Organisation.

Weitzman M. L.(1998), 'Recombinant Growth', *The Quarterly Journal of Economics* Vol. CXIII May Issue 2.

Zucker L. G. and Darby M. R., (1996), 'Stars scientists and institutional transformation: Patterns of invention and innovation in the biotechnologies industry'. *Proc. Natl. Acad. SCI. USA*, n° 93, pp. 12709-12716.

Zucker L. G. et M. R. Darby, (2007), '*Star Scientists, Innovation and Regional and National Immigration*' Working Paper 13547, NBER Oct 2007.